

А. Г. ЯЦУНЕНКО, В. М. КОВТОНЮК, В. Н. ИВАНОВ,
к. т. н. Ю. Е. НИКОЛАЕНКО

Украина, г. Днепропетровск, Институт технической механики;
г. Киев, Научно-исследовательский институт "Орион"
E-mail: anatoly@ramed.dp.ua, nikol@industry.gov.ua

Дата поступления в редакцию
16.05 2005 г.

Оппонент д. т. н. В. С. ГУДРАМОВИЧ
(Ин-т технической механики, г. Днепропетровск)

СЛАБОТОЧНЫЕ ДИОДЫ ГАННА НА ОСНОВЕ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ ДЛЯ КВЧ-АППАРАТОВ

На основе специально разработанного слаботочного диода Ганна, работающего в диапазонах длин волн 42—53 ГГц и 56—65 ГГц, усовершенствованы аппараты КВЧ-терапии.

Широкое применение в медицине для диагностики функционального состояния организма человека, а также при проведении профилактики и лечения различных заболеваний безмедикаментозными методами, находят аппараты, использующие электромагнитное излучение (ЭМИ) крайне высокой частоты (КВЧ) низкой интенсивности, так называемые КВЧ-аппараты [1].

Развитие работ по созданию перспективных КВЧ-аппаратов идет в направлениях:

- расширения функциональных возможностей аппаратов в целом (многоканальность, сочетание различных режимов работы);
- использования новых биологически активных частот КВЧ-сигнала и, что особенно важно, повышения его информационной значимости;
- миниатюризации (разработка миниатюрных генераторных модулей);
- автоматизации управления (например введение в конструкцию аппаратов однокристалльных микро-ЭВМ для обеспечения различных способов модуляции несущего сигнала).

Особое место занимает поиск и использование новых биологически активных резонансных частот КВЧ-диапазона и повышение их информационной значимости.

Повышение информационной значимости КВЧ-сигнала, на наш взгляд, можно обеспечить тремя способами. Первый — это обеспечение возможности доставки информации, заключенной в КВЧ-излучении, с минимальными искажениями и с максимально возможным использованием внутренних информационных каналов организма человека. Второй — это обеспечение поступления в организм специфической (для данного типа заболевания организма) информации путем наложения ее на КВЧ-сигнал. Третий — это сочетание возможностей первого и второго способов с использованием излучателей специальной формы и размеров для обеспечения попадания ЭМИ КВЧ непосредственно к органам или к труднодоступным биологически активным зонам организма (например, аурикулярные или ректальные зонды).

Подход к решению задач первого направления ясен — необходимо использовать воздействие на несколько биологически активных точек или зон одновременно, и современный научно-технический уровень позволяет это реализовать в виде устройств КВЧ пунтурной терапии.

Наиболее доступным и известным техническим приемом решения задач второго направления является амплитудная и частотная модуляция. Амплитудная модуляция используется, как правило, для наложения на КВЧ-сигнал низких частот (от десятых долей Гц до десятков Гц). Частотная модуляция используется для расширения полосы и изменения спектра КВЧ-сигнала.

Однако даже сочетание различных известных вариантов модуляции КВЧ-сигнала не всегда способно обеспечить возможность сообщения организму полезной, значимой для него информации. То есть имеется в виду такой сигнал, который был бы способен инициировать переход организма из одного, неблагоприятного, в другое — более благоприятное состояние. Поэтому работы по разработке новых устройств, принципов и методов повышения информационной значимости и полезности КВЧ-сигнала с учетом общих и индивидуальных особенностей конкретного человеческого организма не утратили своей актуальности и продолжают в настоящее время.

Изложенные соображения были учтены при разработке и изготовлении не имеющих аналогов многоканальных КВЧ-аппаратов серии «РАМЕД ЭКСПЕРТ» (Центр «Рамед», г. Днепропетровск), в одном из которых впервые была реализована возможность воздействия одновременно на шесть биологически активных точек (рис. 1). Эти аппараты прошли клинические испытания и подтвердили высокую эффективность и надежность. (Они позволяют частично решать и задачи второго и третьего направлений.)



Рис. 1. Шестиканальный многофункциональный аппарат "РАМЕД ЭКСПЕРТ-04"

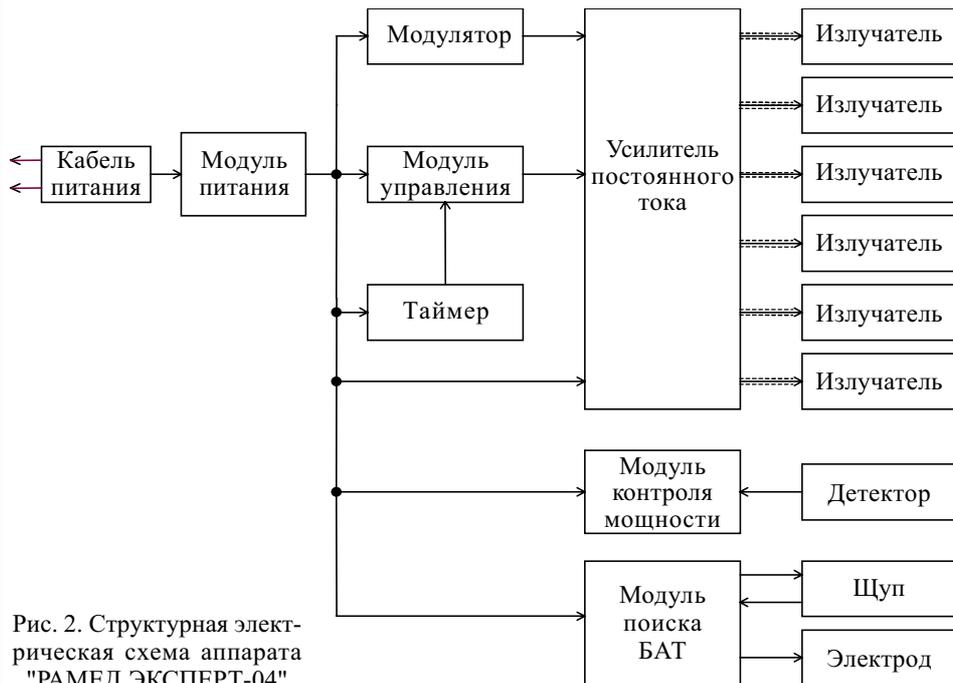


Рис. 2. Структурная электрическая схема аппарата "РАМЕД ЭКСПЕРТ-04"

Структурная схема шестиканального аппарата для КВЧ-терапии приведена на рис. 2.

Наиболее значимым функциональным блоком КВЧ-аппаратов является генераторный модуль, выполняющий функции излучателя ЭМИ КВЧ, а его основным функциональным элементом — генераторный диод.

В генераторных модулях первых моделей КВЧ-аппаратов использовались диоды Ганна российского производства (завод при НИИ ПП, г. Томск) на частоту 42,2 ГГц (одна из биологически активных резонансных частот). Неудовлетворительные к. п. д. и конструктивные особенности корпуса диода, затрудняющие процесс сборки модулей, явились вескими аргументами для разработки более совершенного и более надежного диода Ганна [2].

В НИИ «Орион» (г. Киев) разработаны слаботочные диоды Ганна УАА701А и УАА701Б на основе арсенида галлия (GaAs), которые могут работать на основной гармонике в пролетном режиме на частотах 42—53 ГГц и 56—65 ГГц. Рабочий ток при этом не превышает 120 мА, а рабочее напряжение — 3,2 В.

Конструкция диода Ганна (рис. 3) представляет собой латунное основание 1 с резьбой М2, покрытое слоем золота толщиной 3 мкм, на которое методом термокомпрессии приварена рубиновая втулка 3 диаметром 0,9 мм и толщиной 0,3 мм. На основание на-

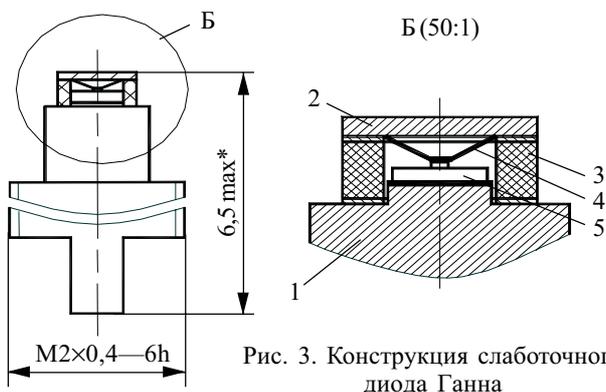


Рис. 3. Конструкция слаботочного диода Ганна

(500°C) в водороде слой AuGe сплавляется с поверхностью арсенида галлия. Слой TiB₂ служит антидиффузионным, препятствующим диффузии Ge, Au, Ga, As к поверхности контакта и верхнего слоя Au — к поверхности GaAs. На сформированный контакт гальванически наносится слой золота толщиной 3 мкм. Со стороны подложки производится утоньчение образца до 25 мкм химико-динамической полировкой в растворе (NH₄)OH—H₂O₂—H₂O, формирование омического контакта, селективно-гальваническое осаждение золота толщиной до 60 мкм (термокомпенсирующий слой между латунным основанием и мезаструктурой из арсенида галлия при пайке кристалла). Методом фотолитографии изготавливаются мезаструктуры диаметром 60 мкм.

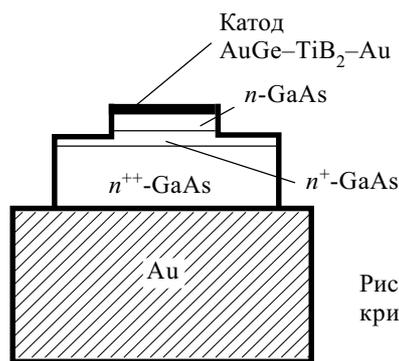


Рис. 4. Кристалл GaAs на кристаллодержателе из золота

На катодном контакте диода Ганна формируется барьер, который ограничивает ток инжекции основных носителей в активную область и сообщает дополнительную энергию электронам для перехода в боковую долину зоны проводимости. Существование барьера на катодном контакте легко определяется по вольт-амперной характеристике, когда подается напряжение, обратное рабочему выше порога. В этом случае наблюдается инжекция неосновных носителей в активный слой диода и наблюдается лавинный пробой.

паян кристалл 5, к верхнему контакту которого приварен золотой ввод 4, соединяющий кристалл с верхней кромкой рубиновой втулки. Все это закрыто медной крышкой 2, покрытой слоем золота толщиной 3 мкм, которая приварена к верхней кромке рубиновой втулки термокомпрессией.

На рис. 4 представлен кристалл диода Ганна на кристаллодержателе из золота. Кристалл изготавливается из эпитаксиальной структуры арсенида галлия типа n-n⁺-n⁺. В качестве контактов используется многослойный металлический слой из AuGe—TiB₂—Au. При термической обработке

По зависимости изменения вольт-амперной характеристики от температуры, когда она из линейной при комнатной температуре переходит в выпрямляющую при температуре жидкого азота, было определено, что катодный контакт содержит барьер Шоттки с относительно низкой высотой.

Рассматриваемые кристаллы отличаются от кристаллов, изготовленных из типичных эпитаксиальных структур типа n^+-n-n^+ , тем, что позволяют производить диоды Ганна, работающие в диапазоне длин волн 5 и 4 мм на основной гармонике с эффективностью преобразования постоянного напряжения в СВЧ-колебания более 2%. К тому же удельное сопротивление таких диодов выше, а это позволяет увеличить диаметр мезаструктуры с 20 мкм для кристаллов из типичных структур до 60 мкм, что значительно облегчает установку кристалла в корпус и позволяет уменьшить индуктивность ввода.

СВЧ-параметры диодов измерялись в генераторе с низкодобротным резонатором, что позволяет перестраивать рабочую частоту диода в широких пределах. Генератор представляет собой отрезок волновода прямоугольного сечения, короткозамкнутый с одной стороны подвижным поршнем. Питание на диод подается через НЧ-фильтр.

Внешний вид генераторов, а также типичные зависимости СВЧ-мощности от частоты, представлены на рис. 5 и 6. Аналогичные зависимости получены для диодов УАА701Б в диапазоне частот 58—67 ГГц (диоды с омическим контактом в этом диапазоне не работали). Максимальная мощность для диодов

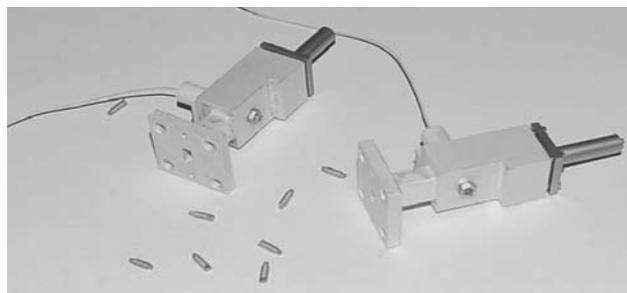


Рис. 5. Диоды и генераторы, перестраиваемые на 4- и 5-мм диапазоны длин волн

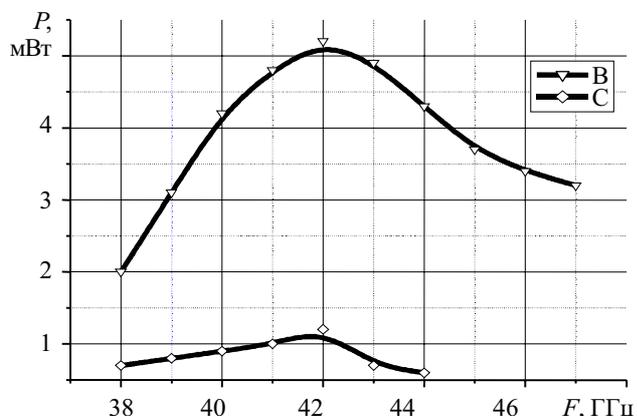


Рис. 6. Зависимости выходной мощности P от частоты F диодов УАА701А с различными катодными контактами: В — катодный контакт с ограниченной инжекцией тока; С — катодный омический контакт

УАА701А на частоте $42 \pm 0,5$ ГГц достигала 10 мВт. Как показали исследования, изменяя индуктивность ввода диода УАА701А можно смещать максимум мощности в диапазоне частот 42—53 ГГц примерно на 2,5 ГГц.

Диоды, изготовленные по разработанной технологии, работают при малых плотностях токов за счет существования барьера на катодном контакте. При этом рабочему току 120 мА соответствует диаметр мезаструктуры 60 мкм. Существует возможность (при сохранении выходной мощности в требуемом диапазоне) за счет уменьшения диаметра мезаструктуры до 20—30 мкм уменьшить рабочий ток диодов до 40—50 мА. Это обстоятельство позволит разработать генераторные модули нового класса, питающиеся от автономных малогабаритных источников, не связанных проводами с общим источником питания, что намного повысит эксплуатационные характеристики аппаратуры и расширит ее функциональные возможности.

Технические характеристики аппаратов для КВЧ-терапии "РАМЕД ЭКСПЕРТ-01—06", генераторные модули которых изготовлены на основе разработанных диодов Ганна, таковы:

— несущая частота электромагнитных колебаний излучателей, МГц	42194±20
— полоса девиации частоты электромагнитных колебаний излучателей, МГц	20—200
— частота модуляции в аппаратах "РАМЕД ЭКСПЕРТ-01, -02, -03", Гц	10±0,1
— частота модуляции в аппаратах "РАМЕД ЭКСПЕРТ-04, -06", Гц	от 1 до 10
с дискретностью, Гц	1
— плотность потока энергии на выходе излучателей	от 5 мкВт/см ² до 0,5 мВт/см ² .

Выводы

1. В НИИ «Орион» (г. Киев) разработаны диоды Ганна, генерирующие колебания на одной из биологически активных резонансных частот в полосе 42—53 ГГц и 56—65 ГГц с эффективностью преобразования постоянного напряжения в СВЧ-колебания более 2% и рабочими токами менее 120 мА. При этом выходная мощность генераторного модуля на частоте $42 \pm 0,5$ ГГц, как правило, составляла 10 мВт, что позволило использовать в каждом из модулей сверхмалогабаритную развязку по высокой частоте 20 дБ с потерями не более 3 дБ.

2. На основе разработанных диодов Ганна Центр «Рамед» (г. Днепропетровск) усовершенствовал не имеющие аналогов аппараты КВЧ-терапии серии «РАМЕД ЭКСПЕРТ», в которых впервые было реализовано воздействие одновременно не менее чем на шесть биологически активных точек на одной из биологически активных резонансных частот — как в диапазоне 42—53 ГГц, так и в диапазоне 56—65 ГГц.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Яцуненко А. Г., Ковтонюк В. М., Иванов В. Н., Николаенко Ю. Е. Использование электромагнитного излучения в медицине и требования к построению КВЧ-аппаратов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2005.— № 2.— С. 41—42.
 2. Заявка 20041210387 України. Напівпровідниковий надвисокочастотний діод Ганна з арсеніду галію / В. М. Иванов, В. М. Ковтонюк, Ю. Є. Ніколаєнко.— 2004.